

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 1998年 9月14日

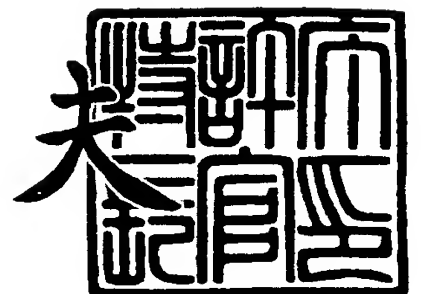
出願番号  
Application Number: 平成10年特許願第260170号  
[ST. 10/C]: [JP 1998-260170]

出願人  
Applicant(s): 株式会社ニコン

2004年 6月16日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 98-01102

【提出日】 平成10年 9月14日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/027

【発明の名称】 露光装置の製造方法、露光装置、及びデバイス製造方法

【請求項の数】 16

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン  
内

    【氏名】 小松田 秀基

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン  
内

    【氏名】 村山 徳雄

【特許出願人】

    【識別番号】 000004112

    【氏名又は名称】 株式会社ニコン

    【代表者】 吉田 庄一郎

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 005223

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

    【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 露光装置の製造方法、露光装置、及びデバイス製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の反射鏡よりなる投影系により投影原版の像を基板へ転写する露光装置の製造方法において、

前記複数の反射鏡よりなる投影系の結像特性を測定する第 1 工程と；

前記結像特性のうち、補正すべき結像特性成分を選択する第 2 工程と；

前記複数の反射鏡から、前記第 2 工程で選択された前記結像特性成分を補正することができる反射鏡を少なくとも 1 つ選択する第 3 工程と；

前記第 1 工程の測定結果に基づいて、前記第 3 工程で選択された反射鏡の表面形状に関して、前記結像特性を実質的に補正するような表面形状を算出する第 4 工程と；

前記第 4 工程にて算出された表面形状を前記反射鏡へ与える第 5 工程と；

前記第 5 工程にて与えられた表面形状を有する前記反射鏡を前記投影系へ組み込む第 6 工程と；

を有することを特徴とする露光装置の製造方法。

【請求項 2】

前記結像特性成分は、結像倍率誤差、像の歪み、像面の曲がり、像面の傾き、開口内の方向による像点位置のずれ、開口数による像点位置のずれ、テレセントリック性の誤差を含むことを特徴とする請求項 1 記載の製造方法。

【請求項 3】

前記複数の反射鏡を前記投影系内で位置決めする第 7 工程をさらに含み、

該第 7 工程では、前記結像特性を実質的に補正するように前記反射鏡を位置決めすることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の製造方法。

【請求項 4】

前記第 1 工程では、前記投影系が使用される波長を用いて前記結像特性を測定することを特徴とする請求項 1，2 または 3 記載の製造方法。

【請求項 5】

前記第 1 工程では、前記投影系が使用される波長とは異なる波長を用いて前記結像特性を測定することを特徴とする請求項 1, 2 または 3 記載の製造方法。

【請求項 6】

前記第 5 工程では、前記選択された反射鏡と実質的に同じ諸元を有する反射鏡に対して表面形状を与え、

前記第 6 工程では、前記投影系中の反射鏡を前記表面形状が与えられた反射鏡と入れ換えることを特徴とする請求項 1, 2, 3, 4 または 5 記載の製造方法。

【請求項 7】

前記第 3 工程では、前記投影原版または前記基板の近傍に配置される反射鏡を選択することを特徴とする請求項 1, 2, 3, 4, 5 または 6 記載の製造方法。

【請求項 8】

前記第 3 工程では、前記投影系の開口絞り位置近傍に配置される反射鏡を選択することを特徴とする請求項 1, 2, 3, 4, 5, 6 または 7 記載の製造方法。

【請求項 9】

X 線光源と、該 X 線光源からの X 線をマスクへ導く照明系と、該マスクを介した X 線を被露光面へ導いて前記マスク上のパターンを投影する投影系とを備える露光装置において、

前記投影系は、請求項 1 乃至 8 の何れか一項記載の製造方法により製造されたことを特徴とする露光装置。

【請求項 1 0】

X 線光源と、該 X 線光源からの X 線をマスクへ導く照明系と、該マスクを介した X 線を被露光面へ導いて前記マスク上のパターンを投影する投影系とを備える露光装置において、

該投影系は、複数の反射鏡より構成され、

該複数の反射鏡のうちの少なくとも 1 つは、該 1 つの反射鏡とは異なる表面形状を持つ反射鏡と交換可能に設けられていることを特徴とする露光装置。

【請求項 1 1】

前記反射鏡の交換により、前記投影系が持つ複数の収差成分のうちの特定の収差成分を、他の収差成分に実質的に影響を与えずに変更することを特徴とする請

求項 1 0 記載の露光装置。

【請求項 1 2】

前記交換可能な反射鏡は、前記投影原版または前記基板の近傍に配置される反射鏡であることを特徴とする請求項 1 1 記載の露光装置。

【請求項 1 3】

前記交換可能な反射鏡は、実質的にパワーを有しないことを特徴とする請求項 1 2 記載の露光装置。

【請求項 1 4】

前記交換可能な反射鏡は、前記投影系の開口絞り位置近傍に配置される反射鏡であることを特徴とする請求項 1 1, 1 2 または 1 3 記載の露光装置。

【請求項 1 5】

前記投影系を構成する複数の反射鏡のうちの少なくとも 1 つの反射鏡上に開口絞りが位置することを特徴とする請求項 1 4 記載の露光装置。

【請求項 1 6】

請求項 1 乃至 1 5 の何れか一項記載の露光装置を用いたデバイスの製造方法であって、

前記基板上に感光材料を塗布する工程と；

前記基板上に前記投影光学系を介して前記マスクのパターンの像を投影する工程と；

前記基板上の前記感光材料を現像する工程と；

該現像後の感光材料をマスクとして前記基板上に所定の回路パターンを形成する工程と；

を有することを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明が属する技術分野】

本発明は、半導体素子や液晶表示素子、または薄膜磁気ヘッドなどのデバイスをリソグラフィ工程により製造する際に用いられる露光装置、この露光装置の製造方法、及びこの露光装置を用いたデバイス製造方法に関する。

## 【 0 0 0 2 】

## 【従来の技術】

半導体素子、液晶表示素子、又は薄膜磁気ヘッド等を製造するために用いられる露光装置として、所定のパターンが形成された投影原版としてのマスクを投影光学系を介して感光性基板上に投影露光するものが知られている。このような投影光学系としては、露光波長の光を透過させる光学特性を有する屈折光学素子（レンズ等）から構成される屈折型の投影光学系、露光波長の光を反射させる光学特性を有する反射光学素子（ミラー等）から構成される反射型の投影光学系、この屈折光学素子と反射光学素子とをくみ合わせた反射屈折型の投影光学系などが知られている。

## 【 0 0 0 3 】

露光に用いる光の波長は、半導体素子の集積度の向上に伴い、g 線から i 線、波長 2 4 8 n m の K r F エキシマレーザ光に移り、近年では波長 1 9 3 n m の A r F エキシマレーザ光を用いることが提案されている。

将来において、半導体素子の集積度がさらに向上すると、露光装置中の投影光学系の解像度もさらに高くすることが要求される。この解像度は、露光波長を  $\lambda$ 、投影光学系の開口数を N A とするとき、

$$(\text{解像度}) = k \times \lambda / N A$$

で表される。ここで、k はケイファクタと呼ばれる 1 以下の正の定数で、使用されるレジストの特性などにより異なる。

## 【 0 0 0 4 】

上記の式よりも明らかな通り、投影光学系の解像度を高くするためには、波長  $\lambda$  を小さくすることが極めて有効であるため、最近になって波長 5 ～ 1 5 n m の軟 X 線領域の光（本明細書では、この光を「E U V (Extreme Ultra Violet) 光」と呼ぶ）を露光光として用いる E U V 露光装置の開発が開始されており、この E U V 露光装置が次々世代の露光装置の有力な候補として注目されている。

## 【 0 0 0 5 】

このような E U V 露光装置に用いられる投影光学系としては、例えば特開平 9 - 2 5 1 0 9 7 号公報において提案されているものが知られている。

**【0 0 0 6】****【発明が解決しようとする課題】**

E U V 光用の投影光学系には、この E U V 光の波長域を透過させる硝材が存在しないためレンズ等の屈折光学素子を使用できず、さらにミラー等の反射光学素子の反射率が約 6 5 % 程度と極端に低いことから、反射光学素子の枚数が極力少ないことが要求されている。例えば上記公報に開示される投影光学系では、4 枚のミラーから投影光学系を構成している。

**【0 0 0 7】**

実際に投影光学系を製造するにあたっては、投影光学系を構成する各光学部材（屈折光学素子、反射光学素子）の製造誤差や組み立て時の誤差があることから、ただ単に組み立てただけで要求される結像性能を満足することは、次々世代のデザインルールに対応した結像性能を達成する前提のもとでは現実的にはありえない。仮に単に組み立てただけで要求される結像性能を満足させるためには、製造公差を実現不可能なぐらい小さく設定する必要がある光学部材の製造ができなくなる。

**【0 0 0 8】**

従って、各光学部材を組み立てた後で投影光学系の結像性能を測定して、その測定結果に基づいて各光学部材の位置を調整することが考えられるが、上記のように光学部材の数が少なくなると調整の自由度が減り、現実的に調整が困難になる場合がある。

そこで、本発明は、投影系が少ない光学部材で構成されている場合であっても、良好な結像性能を達成することを目的とする。

**【0 0 0 9】****【課題を解決するための手段】**

上述の目的を達成するために、本発明の請求項 1 にかかる露光装置の製造方法では、複数の反射鏡よりなる投影系を備えた露光装置の製造方法であって、

前記複数の反射鏡よりなる投影系の結像特性を測定する第 1 工程と；

前記結像特性のうち、補正すべき結像特性成分を選択する第 2 工程と；

前記複数の反射鏡から、前記第 2 工程で選択された前記結像特性成分を補正す

ることができる反射鏡を少なくとも 1 つ選択する第 3 工程と；

前記第 1 工程の測定結果に基づいて、前記第 3 工程で選択された反射鏡の表面形状に関して、前記結像特性を実質的に補正するような表面形状を算出する第 4 工程と；

前記第 4 工程にて算出された表面形状を前記反射鏡へ与える第 5 工程と；

前記第 5 工程にて与えられた表面形状を有する前記反射鏡を前記投影系へ組み込む第 6 工程と；

を有するものである。

#### 【0010】

また、本発明の請求項 2 にかかる発明では、前記結像特性成分は、結像倍率誤差、像の歪み、像面の曲がり、像面の傾き、開口内の方向による像点位置のずれ、開口数による像点位置のずれ、テレセントリック性の誤差を含むものである。

また、本発明の請求項 3 にかかる発明では、前記複数の反射鏡を前記投影系内で位置決めする第 7 工程をさらに含み、該第 7 工程では、前記結像特性を実質的に補正するように前記反射鏡を位置決めするものである。

#### 【0011】

また、本発明の請求項 4 にかかる発明においては、前記第 1 工程では、前記投影系が使用される波長を用いて前記結像特性を測定するものである。

また、本発明の請求項 5 にかかる発明においては、前記第 1 工程では、前記投影系が使用される波長とは異なる波長を用いて前記結像特性を測定するものである。

#### 【0012】

また、本発明の請求項 6 にかかる発明においては、前記第 5 工程では、前記選択された反射鏡と実質的に同じ諸元を有する反射鏡に対して表面形状を与え、前記第 6 工程では、前記投影系中の反射鏡を前記表面形状が与えられた反射鏡と入れ換えるものである。

また、本発明の請求項 7 にかかる発明においては、前記第 3 工程では、前記投影原版または前記基板の近傍に配置される反射鏡を選択するものである。

#### 【0013】



また、本発明の請求項 8 にかかる発明においては、前記第 3 工程では、前記投影系の開口絞り位置近傍に配置される反射鏡を選択するものである。

また、本発明の請求項 9 にかかる露光装置は、X線光源と、該 X線光源からの X線をマスクへ導く照明系と、該マスクを介した X線を被露光面へ導いて前記マスク上のパターンを投影する投影系とを備える露光装置であって、

前記投影系は、上記請求項 1 ～ 9 の何れかの発明にかかる製造方法により製造されるものである。

#### 【 0 0 1 4 】

また、本発明の請求項 1 0 にかかる露光装置は、X線光源と、該 X線光源からの X線をマスクへ導く照明系と、該マスクを介した X線を被露光面へ導いて前記マスク上のパターンを投影する投影系とを備える露光装置であって、

該投影系は、複数の反射鏡より構成され、

該複数の反射鏡のうちの少なくとも 1 つは、該 1 つの反射鏡とは異なる表面形状を持つ反射鏡と交換可能に設けられているものである。

#### 【 0 0 1 5 】

また、本発明の請求項 1 1 にかかる発明では、前記反射鏡の交換により、前記投影系が持つ複数の収差成分のうちの特定の収差成分を、他の収差成分に実質的に影響を与えずに変更するものである。なお、特定の収差成分を他の収差成分に対して実質的に影響を与えずに変更するとは、特定の収差成分を所定の一定量だけ変化させた際に他の収差成分の変動量が上記所定の一定量の半分以下である場合を指す。

#### 【 0 0 1 6 】

本発明の請求項 1 2 にかかる発明では、前記交換可能な反射鏡は、前記投影原版または前記基板の近傍に配置される反射鏡である。ここで、投影原版または基板の近傍に配置される反射鏡とは、当該反射鏡を別の表面形状の反射鏡に交換した際に、像面上における理想結像点からのずれに関する収差（例えば等方的・非等方的な倍率誤差、等方的・非等方的ディストーション）を除く収差成分の変動量が、像面上における理想結像点からのずれに関する収差の変動量の半分以下であるような位置に配置されている反射鏡のことを指す。

## 【0 0 1 7】

本発明の請求項 1 3 にかかる発明では、前記交換可能な反射鏡は、実質的にパワーを有しないものである。

本発明の請求項 1 4 にかかる発明では、前記交換可能な反射鏡は、前記投影系の開口絞り位置近傍に配置される反射鏡である。ここで、開口絞り位置近傍に配置される反射鏡とは、当該反射鏡を別の表面形状の反射鏡に交換した際に、開口数による像面の位置ずれに関する収差成分（瞳面を通過する光束の瞳座標に依存する収差成分、例えば球面収差、偏心コマ収差、非点隔差など）を除く収差成分の変動量が、この開口数による像面の位置ずれに関する収差成分の変動量の半分以下であるような位置に配置されている反射鏡のことを指す。

## 【0 0 1 8】

次に、本発明の請求項 1 5 にかかるデバイス製造方法は、本発明の請求項 9 ～ 1 4 の何れかにかかる露光装置を用いたデバイス製造方法であって、

前記基板上に感光材料を塗布する工程と；

前記基板上に前記投影光学系を介して前記マスクのパターンの像を投影する工程と；

前記基板上の前記感光材料を現像する工程と；

該現像後の感光材料をマスクとして前記基板上に所定の回路パターンを形成する工程と；

を有するものである。本発明による露光装置の使用によって、その基板上に高い解像度でデバイス用の回路パターンを形成できる。

## 【0 0 1 9】

なお、本明細書でいう X 線とは、1 nm ～ 5 0 nm 程度の波長を有する電磁波を指す。

## 【0 0 2 0】

## 【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。

図 1 には、本発明の第 1 の実施形態にかかる露光装置 E X の全体構成が概略的に示されている。この露光装置 E X は、露光用の照明光として波長 5 ～ 1 5 nm

程度の軟X線領域の光（EUV光）を用いて、ステップ・アンド・スキャン方式により露光動作を行う投影露光装置である。なお、図1においては、マスク8の縮小像をウエハ10上に形成する投影系の光軸方向をZ方向とし、このZ方向と直交する紙面内方向をY方向とし、これらYZ方向と直交する紙面垂直方向をX方向とする。

#### 【0021】

この露光装置EXは、投影原版（マスク）としての反射型レチクル8に描画された回路パターンの一部の像を投影系9を介して基板としてのウエハ10上に投影しつつ、レチクル8とウエハ10とを投影光学系9に対して1次元方向（ここではY軸方向）に相対走査することによって、レチクル8の回路パターンの全体をウエハ10上の複数のショット領域の各々にステップアンドスキャン方式で転写するものである。

#### 【0022】

ここで、本実施形態における露光用の照明光である軟X線は、大気に対する透過率が低いため、EUV光が通過する光路は真空チャンバー1により覆われて外気より遮断されている。

まず、本実施形態における照明系について説明する。

レーザ光源100は、赤外域～可視域の波長のレーザ光を供給する機能を有し、例えば半導体レーザ励起によるYAGレーザやエキシマレーザなどを適用できる。このレーザ光は集光光学系101により集光されて、位置3に集光する。ノズル2は気体状の物体を位置3へ向けて噴出し、この噴出された物体は位置3において高照度のレーザ光を受ける。このとき、噴出された物体がレーザ光のエネルギーで高温になり、プラズマ状態に励起され、低ポテンシャル状態へ遷移する際にEUV光を放出する。

#### 【0023】

この位置3の周囲には、集光光学系を構成する楕円鏡4が配置されており、この楕円鏡4は、その第1焦点が位置3とほぼ一致するように位置決めされている。楕円鏡4の内表面には、EUV光を反射するための多層膜が設けられており、ここで反射されたEUV光は、楕円鏡4の第2焦点で一度集光した後、集光光学

系を構成する放物面鏡 5 へ向かう。放物面鏡 5 は、その焦点が楕円鏡 4 の第 2 焦点位置とほぼ一致するように位置決めされており、その内表面には、EUV 光を反射するための多層膜が設けられている。

#### 【0024】

放物面鏡 5 から射出される EUV 光は、ほぼコリメートされた状態でオプティカルインテグレータとしての反射型フライアイ光学系 6 へ向かう。反射型フライアイ光学系 6 は、複数の反射面を集積してなる第 1 の反射素子群 6 a と、第 1 の反射素子群 6 a の複数の反射面と対応した複数の反射面を有する第 2 の反射素子群 6 b とで構成されている。これら第 1 及び第 2 の反射素子群 6 a, 6 b を構成する複数の反射面上にも EUV 光を反射させるための多層膜が設けられている。

#### 【0025】

放物面鏡 5 からのコリメートされた EUV 光は、第 1 の反射素子群 6 a により波面分割され、各々の反射面からの EUV 光が集光されて複数の光源像が形成される。これら複数の光源像が形成される位置の近傍のそれぞれには、第 2 の反射素子群 6 b の複数の反射面が位置決めされており、これら第 2 の反射素子群 6 b の複数の反射面は、実質的にフィールドミラーの機能を果たす。このように、反射型フライアイ光学系 6 は、放物面鏡 5 からの略平行光束に基づいて、2 次光源としての多数の光源像を形成する。尚、このような反射型フライアイ光学系 6 については、本願出願人による特願平10-47400号に提案されている。

#### 【0026】

さて、反射型フライアイ光学系 6 により形成された 2 次光源からの EUV 光は、この 2 次光源位置の近傍が焦点位置となるように位置決めされたコンデンサミラー 7 へ向かい、このコンデンサミラー 7 にて反射集光された後に、光路折り曲げミラー 7 a を介して、反射型レチクル 8 上に達する。これらコンデンサミラー 7 及び光路折り曲げミラーの表面には、EUV 光を反射させる多層膜が設けられている。そして、コンデンサミラー 7 は、2 次光源から発する EUV 光を集光して、反射型レチクル 8 上の所定の照明領域を重疊的に均一照明する。

#### 【0027】

なお、本実施形態では、反射型レチクル 8 へ向かう照明光と、該反射型レチク

ル 8 にて反射されて投影系 9 へ向かう E U V 光との光路分離を空間的に行うために、照明系は非テレセントリック系であり、かつ投影系 9 もレチクル側非テレセントリックな光学系としている。

さて、反射型レチクル 8 上には、E U V 光を反射する多層膜からなる反射膜が設けられており、この反射膜は、感光性基板としてのウエハ 10 上へ転写すべきパターンの形状に応じたパターンとなっている。この反射型レチクル 8 にて反射されて、反射型レチクル 8 のパターン情報を含む E U V 光は、投影系 9 に入射する。

#### 【0028】

本実施形態の投影系 9 は、凹面形状の第 1 ミラー 9 1、凸面形状の第 2 ミラー 9 2、凸面形状の第 3 ミラー 9 3 及び凹面形状の第 4 ミラー 9 4 の計 4 つのミラー（反射鏡）から構成されている。各ミラー 9 1～9 4 は、基材上に E U V 光を反射する多層膜を設けたものからなり、それぞれの光軸が共軸となるように配置されている。

#### 【0029】

ここで、各ミラー 9 1～9 4 により形成される往復光路を遮断しないために、第 1 ミラー 9 1、第 2 ミラー 9 2 及び第 4 ミラーには切り欠きが設けられている。また、第 3 ミラーの位置には、図示無き開口絞りが設けられている。

反射型レチクル 8 にて反射された E U V 光は、第 1 ミラー 9 1～第 4 ミラー 9 4 にて順次反射されてウエハ 10 上の露光領域内に、所定の縮小倍率  $\beta$ （例えば  $|\beta| = 1/4, 1/5, 1/6$ ）のもとで反射型レチクル 8 のパターンの縮小像を形成する。この投影系 9 は、像側（ウエハ 10 側）がテレセントリックとなるように構成されている。

#### 【0030】

なお、図 1 には不図示ではあるが、反射型レチクル 8 は少なくとも Y 方向に沿って移動可能なレチクルステージにより支持されており、ウエハ 10 は X Y Z 方向に沿って移動可能なウエハステージにより支持されている。露光動作の際には、照明系により反射型レチクル 8 上の照明領域に対して E U V 光を照射しつつ、投影系 9 に対して反射型レチクル 8 及びウエハ 10 を、投影系の縮小倍率により

定まる所定の速度比で移動させる。これにより、ウエハ 1 0 上の所定のショット領域内には、反射型レチクル 8 のパターンが走査露光される。

次に、図 2 ～図 4 を参照して、本実施形態における投影系の製造方法について説明する。ここで、図 2 は、本実施形態の製造方法の手順を示すフローチャート図であり、図 3 は、投影系の結像特性を測定するための干渉計の構成を概略的に示す図である。

### 【 0 0 3 1 】

#### [ステップ S 1 0 1]

ステップ S 1 0 1 では、所定の光学設計データによる設計値に従って、投影系を構成する複数のミラー及びこれらミラーを保持する保持部材・鏡筒（図 1 では不図示）を製造する。このとき、複数のミラー表面には E U V 光を反射するための多層膜が設けられる。

### 【 0 0 3 2 】

#### [ステップ S 1 0 2]

ステップ S 1 0 2 では、ステップ 1 において製造された複数のミラーの面形状を干渉計を用いて測定する。この干渉計としては、可視光などの非露光光を用いて測定する干渉計や、露光光（E U V 光）を用いて計測する干渉計を用いることができる。なお、非露光光を用いて測定を行う干渉計（例えば公知のフィゾー型干渉計、トワイマングリーン干渉計など）を使用する場合には、非露光光が多層膜表面で反射し、露光光としての E U V 光が多層膜の内部で反射するため、露光光の波長のもとでの表面形状が測定結果と異なる恐れもある。この場合には、このずれをオフセットとして測定結果に加えれば良い。

### 【 0 0 3 3 】

また、露光光を計測光として用いる干渉計としては、例えば本件出願人による特開平 2-228505 号に開示されている干渉計を適用することができる。

以上の如き干渉計を用いたミラーの面形状測定は、投影系 9 を構成する各ミラー 9 1 ～ 9 4 に関して行われる。この測定された面形状データは、コンソールなどの入力系を介して、計算機等の演算部に接続されたメモリー部に記憶される。

### 【 0 0 3 4 】

## [ステップ S 1 0 3]

上記ステップ S 1 0 2 の面形状計測が完了した後、各ミラー 9 1 ~ 9 4 を保持部材にて支持し、投影系 9 の鏡筒に組み込み、投影系 9 を組上げる。

なお、本実施形態では、保持部材には各ミラー 9 1 ~ 9 4 の空間的な位置を調整するための調整機構と、所定の参照位置を基準として各ミラーの位置を測定するための位置測定機構（マイクロメータなど）とが設けられている。ステップ S 1 0 3 においては、投影系 9 の組上げ作業と平行して、各ミラー 9 1 ~ 9 4 の位置に関する反射面位置情報を入力系を介して上記メモリー部に記憶させる。

## 【0 0 3 5】

## [ステップ S 1 0 4]

ステップ S 1 0 4 では、図 3 に示す如く、ステップ S 1 0 3 にて組上げられた投影系 9 の結像性能（波面収差）の測定を行う。具体的には、投影系 9 を図 3 に示す波面収差測定機に取り付けて測定を行う。尚、図 3 の波面収差測定機を露光装置本体に取り付けても良い。

## 【0 0 3 6】

図 3 において、レーザ光源部 2 0 は、所定の波長域のレーザ光をほぼ平面波の状態で射出する。このレーザ光は、ビームスプリッタ 2 1 を通過した後、集光光学系 2 2 へ向かう。この集光光学系 2 2 は、波面収差測定機の測定精度に対して球面収差及び正弦条件を十分に無視し得る程度に抑えこんだ実質的に無収差の光学系である。ここで、集光光学系 2 2 の入射面 2 2 a は、入射する平面波と同一形状（すなわち平面）となっており、この入射面 2 2 a はハーフミラー面となっている。従って、入射面 2 2 a に入射する平面波は、ここで振幅分割され、反射光は平面波のまま参照光としてビームスプリッタ 2 1 へ戻される。一方、入射面 2 2 a を通過した透過光は計測光として、この集光光学系 2 2 により集光されて球面波に変換されて投影系 9 へ向かう。なお、集光光学系 2 2 の最終面（最も射出側のレンズ面）を参照面として用いても良いことは言うまでもない。

## 【0 0 3 7】

投影系 9 は、その物体面（マスク面）位置が球面波の集光点位置と一致するように波面収差測定機内に位置決めされており、投影系 9 には、物体面から発する

球面波が入射することになる。

ここで、投影系 9 に波面収差が存在しなければ（投影系 9 が理想光学系であれば）、投影系 9 からは像面位置にて集光する如き球面波が射出されることになる。投影系 9 の射出側で像面を挟んで投影系とは逆側には、球面鏡 23 が配置されている。この球面鏡 23 の表面形状は、投影系 9 が理想光学系である場合に投影系 9 から射出される球面波と同一形状に形成されている。従って、投影系 9 が理想光学系である場合には、投影系 9 から射出される球面波と同じ形状を持つ球面波が再び投影系 9 へ戻される。また、投影系 9 が波面収差を有している場合には、その波面収差に応じた形状の波面が投影系 9 へ戻される。

#### 【0038】

球面鏡 23 にて反射されて投影系 9 へ戻された計測光は、投影系 9 から射出されて集光光学系 22 を経た後、ビームスプリッタ 21 へ向かう。前述のように、集光光学系 22 の入射面にて反射された参照光もビームスプリッタ 21 へ向かい、これらの計測光及び参照光は、ビームスプリッタ 21 にて反射されて、CCD などの光電変換素子からなる受光器 24 の受光面に達する。ここで、投影系 9 が波面収差を有している場合には、受光面上において波面収差に応じた干渉縞が発生する。この干渉縞は、参照波面と、投影系 9 を往復通過した光束の波面との差に応じた形状となっており、この干渉縞を画像解析することにより投影系 9 の波面収差を求めることができる。ここで、投影系 9 と集光光学系 22 及び球面鏡 23 とを相対的に移動させつつ測定を行うことで、投影系 9 の視野（または露光領域）内の複数の位置での波面収差の測定が可能となる。

#### 【0039】

なお、レーザ光源部 20 の機能としては、コヒーレント長が極力長い平面波を発生させるものであれば、レーザには限られない。

以上の例では、投影系 9 がミラーのみからなる反射型光学系であり、その色収差をほぼ無視できるために、投影系 9 の使用波長（露光波長）とは異なる波長域にて計測を行ったが、この場合、計測光は投影系 9 の各ミラー 91～94 上の多層膜表面で反射し、実際の露光時に用いられる EUV 光は多層膜の内部で反射する場合があるため、計測される波面収差と露光波長での波面収差とが異なる恐れ



もある。この場合には、計測される波面収差と露光波長での波面収差とのずれをオフセットとして、計測された波面収差に加えれば良い。

#### 【0040】

また、以上のような非露光波長のもとでの計測ではなく、露光波長で計測を行っても良い。露光波長を用いて計測する場合には、例えば本願出願人による特開昭57-64139号や特開平2-228505号に開示される干渉計の原理を用いることができる。この特開昭57-64139号の干渉計を用いる場合、屈折型光学素子の代わりに反射型光学素子を用い、EUV光を紫外～可視～赤外などの検出可能な波長帯へ変換するための素子（蛍光板など）を検出器の位置に配置するように変形することは言うまでもない。ここで、検出器としてEUV光に感度を有しているものを用いても良く、例えば金属片をマトリックス状に配置して光電効果による電流を各々の金属片ごとに検出する手法などが考えられる。

#### 【0041】

##### [ステップS105]

ステップS105では、上述のステップS104にて得られた波面収差を、例えばツェルニケの円筒関数を用いて直交関数系に展開した波面収差 $W(\rho, \theta)$ を得る。ここで、 $\rho$ は規格化瞳半径であり、 $\theta$ は瞳における動径角（反時計周りが正）である。

#### 【0042】

このとき、波面収差 $W(\rho, \theta)$ は、

#### 【0043】

##### 【数1】

$$\begin{aligned} W(\rho, \theta) = & Z_0 \\ & + Z_1 \rho \cos \theta \\ & + Z_2 \rho \sin \theta \\ & + Z_3 (2\rho^2 - 1) \\ & + Z_4 (\rho^2 \cos 2\theta) \\ & + Z_5 (\rho^2 \sin 2\theta) \\ & : \end{aligned}$$

:

で表される。但し  $Z_0$ ,  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$ ,  $Z_4$ ,  $Z_5 \cdots$  は各項の係数である。

**【 0 0 4 4 】**

上記波面収差  $W(\rho, \theta)$  の展開式において、各項はディストーション、フォーカス、3次非点収差、3次コマ収差、3次球面収差、3回対称コマ収差、5次非点収差、5次コマ収差、5次球面収差 $\cdots$ などの収差に対応しており、これより、波面収差を複数の収差成分に分解することができる。

**[ステップ S 1 0 6]**

ステップ S 1 0 6 では、補正すべき複数の収差成分のそれぞれと、投影系 9 を構成する複数の反射面との対応付けを行い、どの反射面に対して再加工を行うかの選択を行う。なお、このステップ S 1 0 6 に先だって、投影系 9 の光学設計データによる設計値（各反射面の形状、位置）を微小量変化させた際に、どの収差成分がどの程度変化するのかに対応する変化量をシミュレーション上で求めておく。なお、この求められた変化量に関する情報は、コンソールなどの入力系を介して、計算機等の演算部に接続されたメモリー部に記憶させる。

**【 0 0 4 5 】**

そして、補正すべき複数の収差成分のそれぞれから、各反射面の位置（光軸方向、光軸直交方向、光軸直交方向を軸とする回転方向、光軸を中心とする回転方向）を変化させることにより補正可能な収差成分を除き、収差の残渣成分を求める。この収差の残渣成分が複数の反射面の面形状を変更することでしか補正できない収差成分である。この収差の残渣成分に関する情報についても、コンソールなどの入力系を介して、計算機等の演算部に接続されたメモリー部に記憶させる。

**【 0 0 4 6 】**

なお、倍率誤差に関しては、物体面側が非テレセントリックである場合（入射瞳位置が有限距離である場合）、物体面と投影系との光軸方向の距離を変更することにより補正できるため、この構成を適用する場合には、この補正可能な倍率誤差も除いて収差の残渣成分を得れば良い。

次に、シミュレーションにおいて求められた各反射面における収差成分の変化量と、収差の残渣成分とに基づいて、どの反射面の形状を変化させれば、収差の残渣成分を実質的に補正できるのかを決定する。このとき、収差の残渣成分のうち、どの成分がどの反射面に対応しているのかに関する情報もコンソールなどの入力系を介して、計算機等の演算部に接続されたメモリー部に記憶させる。

#### 【0 0 4 7】

なお、像点の位置ずれに関する収差成分に関しては、物体面あるいは像面の近傍に配置される反射面で補正することが好ましい。この像面の近傍に配置される反射面では、開口数による像面の位置ずれに関する収差成分（瞳面を通過する光束の瞳座標に依存する収差成分）に対して比較的影響を与えることなく、像点の位置ずれに関する収差成分を補正できるため、当ステップ S 1 0 6 及び後述のステップ S 1 0 7 における計算が容易となる利点がある。ここで、投影系 9 が縮小倍率を有する場合には、物体面の近傍に配置することが好ましい。これは像面側よりも物体面側で光束幅が細くなり隣り合う像点間へ与える収差を独立に制御しやすくなるためである。

#### 【0 0 4 8】

この理由により、図 1 に示す実施形態では、主に像点の位置ずれに関する収差成分を他の収差成分と独立に補正するために、物体（反射型レチクル 8）面の近傍に配置されるミラー 9 1 を再加工すべき（交換すべき）反射面として選択している。ここで、物体面近傍（像面近傍）に配置されるミラーとは、このミラーを再加工あるいは交換して別の表面形状にした場合に、像面上における理想結像点からのずれに関する収差（例えば等方的・非等方的な倍率誤差、等方的・非等方的ディストーション）を除く収差成分の変動量が、像面上における理想結像点からのずれに関する収差の変動量の半分以下であるような位置に配置されているミラーのことを指す。

#### 【0 0 4 9】

また、開口数による像点の位置ずれに関する収差成分に関しては、開口絞り位置（瞳位置）の近傍に配置される反射面で補正することが好ましい。開口絞り位置の近傍の反射面では、像点の位置ずれに関する収差成分に対して比較的影響を

与えることなく、開口数による像点の位置ずれに関する収差成分を補正でき、当ステップS 106 及び後述のステップS 107 における計算が容易となる利点がある。

#### 【0050】

この理由により、図1に示す実施形態では、主に開口数による像点の位置ずれを補正するために、開口絞り位置の近傍に配置されるミラー93を再加工すべき（交換すべき）反射面として選択している。ここで、開口絞り位置近傍に配置されるミラーとは、このミラーを再加工あるいは交換して別の表面形状にした場合に、開口数による像面の位置ずれに関する収差成分（瞳面を通過する光束の瞳座標に依存する収差成分、例えば球面収差、偏心コマ収差、非点隔差など）を除く収差成分の変動量が、この開口数による像面の位置ずれに関する収差成分の変動量の半分以下であるような位置に配置されているミラーのことを指す。

#### 【0051】

このように、物体面または像面近傍の反射面と開口絞り位置近傍の反射面との少なくとも一方を形状を変化させる反射面として選択する場合には、求められた残渣成分と上記反射面の変化量とに基づいて、反射面を選択を行えば良い。

#### 〔ステップS 107〕

ステップS 107では、選択された反射面ごとに残渣成分を補正できるような反射面の形状を算出する。このステップS 107は、以下に説明する複数のサブステップSS 1071～SS 1078からなる。

#### 【0052】

なお、以下のサブステップの説明においては、ステップS 106において選択された反射面の総数を $m$ とし、形状を算出している反射面がどの反射面であるのかを示すために $n$ を用いる。

#### 〈サブステップSS 1071〉

サブステップSS 1071では、反射面の番号を示す $n$ に1を代入する。

#### 【0053】

#### 〈サブステップSS 1072〉

サブステップSS 1072では、投影系を構成する各反射面に関して、ステッ

プ S 1 0 2 において実測された形状データと、ステップ S 1 0 3 にて記憶された反射面位置情報をメモリから読み出す。

〈サブステップ S S 1 0 7 3〉

サブステップ S S 1 0 7 3 では、メモリから収差の残渣成分の読み出しを行う。

【 0 0 5 4 】

〈サブステップ S S 1 0 7 4〉

サブステップ 1 0 7 4 では、サブステップ S S 1 0 7 2 にて読み出された反射面の形状データ及び反射面位置情報を初期値として、収差の残渣成分のうち第 n 番目の反射面にて補正可能な収差成分を補正できる形状の最適化を行う。この最適化にあたって、変化させるパラメータは第 n 番目の反射面の形状であり、評価値は上記補正可能な収差成分である。そして、この変化した反射面形状と反射面位置情報とを用いて光線追跡によりシミュレーション上での収差を求め、各反射面位置の調整により補正可能な収差成分を除くことにより、評価値としての収差の残渣成分を算出する。この動作を評価値が目標値に達するまで行う。

【 0 0 5 5 】

なお、当サブステップ S S 1 0 7 4 に適用できる最適化手法としては、D L S（減衰最小自乗法，Damped Least Square Method）などの局所的最適化手法や、G A（遺伝的アルゴリズム，Genetic Argolism）などの大域的最適化手法を用いることができる。また、当サブステップ S S 1 0 7 4 でのパラメータとしての反射面の形状は、曲率半径、非球面係数という回転対称なものだけではなく、反射面上の複数の座標における面の勾配も用いることができ、本実施形態では両者を用いる。

【 0 0 5 6 】

〈サブステップ S S 1 0 7 5〉

サブステップ S S 1 0 7 5 では、上記サブステップ S S 1 0 7 4 にて算出された反射面の形状を、メモリへ記憶する。ここで、次ループのサブステップ S S 1 0 7 2 にて読み出される反射面の形状データは、実測された形状データではなく、当サブステップ S S 1 0 7 5 にて記憶させた反射面形状を用いることになる。

## 【0057】

## 〈サブステップSS1076〉

サブステップSS1076では、サブステップSS1074にて算出された収差の残渣成分をメモリへ記憶する。ここで、次ループのサブステップSS1073では、当サブステップ1076において記憶された収差の残渣成分を用いることになる。

## 【0058】

## 〈サブステップSS1077〉

サブステップSS1077では、形状が算出された反射面の数 $n$ が選択された反射面の総数 $m$ を超えたか否かを判断する。ここで、超えていない場合には、第 $n+1$ 番目の反射面の形状を求めるためにサブステップSS1078へ移行し、超えた場合にはサブステップSS1079へ移行する。

## 【0059】

## 〈サブステップSS1078〉

サブステップSS1078では、 $n$ に1を加え、第 $n$ 番目の反射面から第 $n+1$ 番目の反射面に対象を移した後、サブステップSS1072へ移行する。

## 〈サブステップSS1079〉

サブステップSS1079では、現在メモリ上に記憶されている収差の残渣成分が目標値に到達しているか否かを判断する。ここで、目標値に到達している場合には、当サブステップSS1071～SS1079を終了し、次のステップSS108へ移行する。また、目標値に到達していない場合には、選択された反射面形状を再び最適化するためにサブステップSS1071へ移行する。

## 【0060】

当サブステップSS1079は、ステップS106において選択された反射面が複数存在する場合に、複数の反射面のうちの一つの形状変更が、別の反射面の形状変更で補正すべき収差成分に実質的な影響を及ぼす場合に有効である。

上記ステップS106において述べたように、投影系の結像性能のうち、所定の収差成分を、他の収差成分に対して実質的に影響を与えずに変更できるような反射面を選択する場合（物体面あるいは像面の近傍に配置される反射面、開口絞

り位置（瞳位置）の近傍に配置される反射面を選択する場合）には、求める解の発散を招きにくい利点がある。

#### 【0061】

また、ステップS107では、上述の如き最適化手法の代わりに、ステップS106にて算出されている変化量に関する情報を用いて、収差の残渣データを実質的に相殺できる形状を、上記変化量に関する情報から比例計算で求めることも可能である。この手法を用いる場合には、複数の反射面のうちの一つの形状変更が、別の反射面の形状変更で補正すべき収差成分に実質的な影響を及ぼさないような反射面が選択されていることが好ましい。

#### 【0062】

##### [ステップS108]

ステップS108では、投影系からミラーを取りだし、ステップS107にて求められた表面形状となるように加工を行う。本実施形態では、ミラー表面に設けられた多層膜の表面形状とほぼ一致することになる。ステップS108では、取り出されたミラー上に積層された多層膜を部分的に除去する手法、または部分的に多層膜を積層する手法、あるいは両者を併用することにより、ミラー上の膜厚分布を変更する。ここで、前者のように多層膜を部分的に除去することにより多層膜の膜厚分布を変更する技術は、本件出願人による特開平7-84098号公報において提案されており、後者のように多層膜を部分的に積層させる技術は、本件出願人による特開平10-30170号公報において提案されている。

#### 【0063】

なお、ステップS108では、投影系から取り出されたミラーに対して表面形状を変更する加工を行っているが、その代わりに、加工すべきミラーと同じ設計値を有するミラーを用意して、このミラーに対して加工を行っても良い。この場合、用意されるミラーの実際の表面形状を予め測定しておくことは言うまでもない。

#### 【0064】

##### [ステップS109]

ステップS109では、上記ステップS108において加工されたミラーを投

影系内へ組み込む。

[ステップ S 1 1 0]

ステップ S 1 1 0 では、メモリ内に記憶されている反射面位置情報に基づいて、ミラーがその位置となるように位置調整を行う。

【0065】

[ステップ S 1 1 1]

ステップ S 1 1 1 では、ステップ S 1 0 4 と同様に投影系の波面収差を測定する。

[ステップ S 1 1 2]

ステップ S 1 1 2 では、ステップ S 1 1 1 にて測定された波面収差（結像性能）が規格内であるか否かを判断する。ここで、規格内である場合には、投影系の調整が完了する。また、規格外である場合には、次のステップ S 1 1 3 へ移行する。

【0066】

[ステップ S 1 1 3]

ステップ S 1 1 3 では、ステップ S 1 1 2 において測定された波面収差をステップ S 1 0 5 と同様に複数の収差成分に分解し、この複数の収差成分から各反射面の位置（光軸方向、光軸直交方向、光軸直交方向を軸とする回転方向、光軸を中心とする回転方向）を変化させることにより補正可能な収差成分を除き、収差の残渣成分を求める。

【0067】

その後、収差の残渣成分が所定の閾値以下であるか否かにより、反射面の再加工が必要であるか否かを判断する。ここで、収差の残渣成分が所定の閾値以下である場合には、反射面の再加工が必要ないと判断できるためステップ S 1 1 0 へ移行する。また、収差の残渣成分が所定の閾値を超える場合には、反射面の再加工が必要であると判断できるためステップ S 1 0 5 へ移行する。

【0068】

以上のステップ S 1 0 1 ～ S 1 1 3 を実行することにより、極めて良好な結像性能を有する反射型の投影系を製造することができる。この後、製造された投影



系、照明系、アライメント系、ステージ等を露光装置本体へ組み込むことにより極めて微細なパターンを転写することができる露光装置を実現できる。

次に、図5を参照して本発明にかかる第2の実施形態について説明する。

#### 【0069】

第2の実施形態は、第1の実施形態における投影系9の変形例であり、投影系を除く部分は第1の実施形態と同様であるため、図示及び説明を省略する。

図5において、投影系9は、平面鏡である2枚のミラー95、96、凹面形状を有するミラー91、凸面形状を有するミラー92、凸面形状を有するミラー93及び凹面形状を有するミラー94とを有する。そして、各ミラーの光軸は互いに共軸（平面鏡の場合は反射面の法線を光軸とみなす）となるように配置されている。ここで、各ミラー91～96は、基材上にEUV光を反射する多層膜を設けたものからなる。また、各ミラー91～96により形成される往復光路を遮断しないために、ミラー91、92、94、95には切り欠きが設けられている。

#### 【0070】

そして、各ミラー91～96は、反射型レチクル8からのEUV光がミラー95、ミラー96、ミラー91、ミラー92、ミラー93及びミラー94を順次經由して像面へ向かうように位置決めされている。

第3ミラーの位置には、図示無き開口絞りが設けられており、この開口絞りにより、像面側（ウエハ側）テレセントリックが達成される。また、図5の投影系においても、反射型レチクル8へ向かう照明光と、反射型レチクル8から投影系9へ向かうEUV光との光路分離を容易とするために、物体側（反射型レチクル8側）は非テレセントリックに構成されている。

#### 【0071】

図5の投影系9においては、再加工すべきミラー（交換すべきミラー）として、平面鏡であり且つ投影系9中で最も反射型レチクル8側に位置しているミラー95を選択している。このミラー95は、像点の位置ずれに関する収差について他の収差にほとんど影響を与えることなく変更することができ、さらに実質的に平面形状であるため、補正を行うための表面形状の算出が容易となる利点がある。

。

**【 0 0 7 2 】**

ミラー 9 5 の表面形状の算出にあたっては、以下の手法を用いることができる。

図 6 は、ミラー 9 5 の表面形状を決定する手法を図示した説明図である。なお、図 6 においては、像側（ウエハ 1 0 側）において像面と垂直となる主光線（像側テレセントリックな主光線）を像側から投影系 9 へ入射させた場合を前提としている。投影系中のミラー 9 1 ～ 9 4 , 9 6 を経た主光線 P R 1 , P R 2 は、それぞれミラー 9 5 の反射面上の制御点 C 1 , C 2 にてそれぞれ反射される。このときミラー 9 5 の表面形状が平面である初期状態では、反射型レチクル 8 上の点 P 1 1 , P 1 2 にそれぞれ到達する。ここで、投影系に像の位置ずれに関する収差が存在しない場合には、これらの主光線は反射型レチクル 8 上の理想結像点 P 1 2 , P 2 2 に到達するはずである。従って、制御点 C 1 , C 2 近傍において反射面を傾けることにより主光線の到達位置を点 P 1 1 , P 2 1 から理想結像点 P 1 2 , P 2 2 へ変更すれば良い。このとき、傾けられた反射面 9 5 a 1 , 9 5 a 2 の傾きは、反射型レチクル 8 上の理想結像点 P 1 2 , P 2 2 と実測された結像点に対応する点 P 1 1 , P 2 1 との差、反射型レチクル 8 とミラー 9 5 との間隔、各理想結像点 P 1 2 , P 2 2 でのテレセントリック性（その理想結像点に到達する設計上の主光線と光軸との傾き）などに基づいて決定することができる。

**【 0 0 7 3 】**

これら各制御点における反射面 9 5 a 1 , 9 5 a 2 の傾きを求めた後に、これらの部分反射面をつなぐことでミラー 9 5 の表面形状を算出することができる。

この場合、第 1 の実施形態におけるステップ S 1 0 6 ～ S 1 0 8 を上記手法に置き換えれば良い。

このように、投影系中の平面ミラーを選択する（交換する）場合には、像点の位置ずれに関する収差を、それ以外の収差に対して実質的に影響を与えずに変更することが可能となる。

**【 0 0 7 4 】**

なお、図 5 の投影系 9 において、平面鏡であるミラー 9 5 またはミラー 9 6 あるいはその双方に対して全体的に曲率を与えるようにすれば、投影系 9 のペツツ

バル和を補正することができ、像面湾曲の補正に有効となる。

また、平面鏡であるミラー 9 5 またはミラー 9 6 あるいはその双方をトーリック面あるいはシリンドリカル面とすれば、像の X Y 方向ごとの倍率誤差を調整できる。

#### 【 0 0 7 5 】

また、平面鏡であるミラー 9 5 またはミラー 9 6 あるいはその双方に対して局所的なパワー分布を与えれば、像面上における光軸方向の結像位置の分布を所望の値とすることができるため、像面の傾き・曲がりを補正することができる。このとき、局所的にサジタル方向とメリジオナル方向とで異なるパワーとなるように反射面の表面形状を与えれば、像面上の各点における非点隔差を補正することができる。

#### 【 0 0 7 6 】

また、図 6 において説明した例では、像点の位置ずれに関する収差のみを補正したが、ミラー 9 5 に加えてミラー 9 6 も選択する（交換する）場合には、像点の位置ずれのみならず、像面上（物体面上）の各点でのテレセントリック性を制御することが可能となる。この場合、テレセントリック性を設計上のテレセントリック性と合致させるように制御する。また、反射型レチクル 8 と投影系 9 との光軸方向の間隔を変更して倍率誤差を補正する場合には、物体面上の各点に到達する主光線の Y Z 平面投影時の傾きと X Z 平面投影時の傾きとを揃えるように制御しても良い。これにより、反射型レチクル 8 と投影系 9 との光軸方向の間隔変更時において、走査方向及び走査直交方向の倍率変化の割合を同じとすることができる。

#### 【 0 0 7 7 】

さて、以上の例では、露光条件がある一定の条件である場合に最適な投影系を製造する方法について述べたが、照明条件やレジストの種類、パターンルール、環境変動などの露光条件が大幅に変化する場合には、ある条件下で最適であっても別の条件下では最適でなくなる場合がある。

このような場合には、複数の露光条件のうち特定の露光条件のもとで最適となるようなミラーと、上記特定の露光条件とは異なる露光条件のもとで最適となる

ようなミラーとを交換可能に設ければ良い。

#### 【0078】

図7は、本発明の第3の実施形態である露光条件に応じて複数のミラーを交換可能に設けた露光装置を示す図である。図7において、図1と同じ機能を有する部材には同じ符号を付してある。

図7の露光装置において図1のものとは異なる点について説明する。図7において、複数の光源像からなる2次光源を形成する反射型フライアイ光学系6の第2の反射素子群6bの近傍（2次光源位置）には、光通過部の形状を可変とすることができる $\sigma$ 絞りAS1が設けられている。この光通過部の形状は、第1の直径を持つ円形状（大 $\sigma$ 照明用）、第1の直径よりも小さな直径を持つ円形状（小 $\sigma$ 照明用）、輪帯形状（輪帯照明）、光軸に対して偏心した位置に配置された4つの円形または扇形（4重極照明用）のうちの1つとなるように選択可能となっている。この $\sigma$ 絞りAS1は、 $\sigma$ 絞り制御ユニットCU1によりその光通過部の形状が変化するように制御される。

#### 【0079】

また、投影系9のミラー93の近傍には、光通過部の直径を変更することができる可変開口絞りAS2が配置されている。この可変開口絞りAS2の光通過部の直径は、可変開口絞り制御ユニットCU2により制御される。

図7の例では、最も反射型レチクル8に近いミラー91が、該ミラー91とは異なる表面形状を有するミラー97と交換可能に構成されている。この交換は、ミラー交換制御ユニットCU3により制御される。

#### 【0080】

主制御ユニットMCUは、これらの $\sigma$ 絞り制御ユニットCU1、可変開口絞り制御ユニットCU2、ミラー交換制御ユニットCU3に接続されると共に、露光条件に関する情報を入力することが可能な入力ユニットIUと接続されている。なお、この入力ユニットIUについては、コンソールなどの入力機器、反射型レチクル8に設けられたバーコード等を検出するバーコードリーダーなどを適用することができる。

#### 【0081】

さて、入力部から露光条件に関する情報が入力されると、主制御ユニットMCUは、 $\sigma$  絞り制御ユニットCU1及び可変開口絞り制御ユニットCU2へ $\sigma$  値などの露光条件に関する制御信号を送る。また、主制御ユニットMCUの内部のメモリには、露光条件の種類とミラーの種類との対応関係が示されたテーブルが記憶されており、主制御ユニットMCUは、このテーブルに従ってミラー交換制御ユニットCU3へ、どのミラーを用いるかに関する制御信号を送る。

#### 【0082】

これにより、 $\sigma$  絞り制御ユニットCU1は、2次光源の形状を所定の形状とするように $\sigma$  絞りAS1を駆動し、可変開口絞り制御ユニットCU2は投影系9の開口数を所定の値とするように可変開口絞りAS2を駆動する。そして、ミラー交換制御ユニットCU3は、ミラー91，97の交換を行う。

以上より、どのような露光条件においても、その露光条件のもとで最適な結像性能を達成できる。

#### 【0083】

また、図7の例において、転写するパターンの種類（コンタクトホール、ライン・アンド・スペース（L&S）パターンなど）に応じて、可変開口絞りAS2の近傍の位置（瞳近傍の位置）において、そこを通過するEUV光の光学特性の分布（例えば振幅分布、位相分布など）を変更することも考えられるが、この変更により変動する収差を補正するために、ミラー91，97の交換を行っても良い。尚、瞳近傍の位置でのEUV光の光学特性の分布を変更するためには、例えば瞳位置近傍のミラー93の反射率分布、形状分布を変更することが考えられ、この場合には、ミラー93も別の反射率分布、形状分布を持つミラーと交換可能に設ければ良い。

#### 【0084】

また、図5の例において、平面鏡であるミラー96をトーリック形状あるいはシリンダリカル形状として、かつ光軸を中心として回転可能に設けることにより、ウエハプロセスに起因する非線型なウエハの伸縮や露光装置間による回転非対称な倍率誤差、ディストーションなどを補正することができる。

また、第1の実施形態においては、ステップS104とステップS105との

間にステップS 112を行っても良い。この場合、ステップS 112において結像性能が規格内であれば完了であり、規格外であればステップS 105へ移行する。また、この場合には、ステップS 106において収差の残渣成分が無視し得る程度であれば、ステップS 110の反射面の位置調整へ移行する。

#### 【0085】

また、第1の実施形態において、ステップS 106で形状変化すべき反射面を選択する際に、まず所定の1つの反射面のみを選択してステップS 107以降のステップを実行し、その後、ステップS 113へ移行した際にその反射面に関する収差の残渣成分が所定の閾値を超える場合には第1の実施形態通りのステップを実行し、その反射面以外の収差の残渣成分が所定の閾値を超える場合には別の反射面を選択してステップS 107へ移行する。このとき、例えばステップS 105において像点の位置ずれに関する収差成分の量が支配的であれば、図1の投影系において最も物体側に配置されるミラー91のみを選択し、開口数による像点の位置ずれに関する収差成分の量が支配的であれば開口絞り近傍のミラー93のみを選択すれば良い。

#### 【0086】

次に、上記の実施の形態の露光装置を用いてウエハ上に所定の回路パターンを形成する際の動作の一例につき図8のフローチャートを参照して説明する。

まず、図8のステップ101において、1ロットのウエハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ102において、その1ロットのウエハ上の金属膜上にフォトレジストが塗布される。その後、ステップ103において、図1、図5または図7の露光装置を用いて、レチクルR上のパターンの像がその投影系Cを介して、その1ロットのウエハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ104において、その1ロットのウエハ上のフォトレジストの現像が行われた後、ステップ105において、その1ロットのウエハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、レチクルR上のパターンに対応する回路パターンが、各ウエハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、極めて微細な回路を有する半導体素子等のデバイスが製造される。

**【0087】**

このように本発明は上述の実施形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成をとり得る。

**【0088】****【発明の効果】**

本発明の露光装置の製造方法によれば、投影系が少ない光学部材で構成されている場合であっても、良好な結像性能を達成することができる。

また、本発明の製造方法を用いて製造された露光装置は、極めて微細なパターンを基板上に形成することができる。

**【0089】**

また、本発明のデバイス製造方法によれば、基板上に高い解像度でデバイス用の回路パターンを形成できる。

**【図面の簡単な説明】****【図1】**

本発明の第1の実施形態にかかる露光装置を概略的に示す図である。

**【図2】**

本発明の第1の実施形態にかかる露光装置の製造方法の手順を示すフローチャート図である。

**【図3】**

本発明の第1の実施形態にかかる製造方法において用いられる波面収差測定機の一例を示す図である。

**【図4】**

本発明の第1の実施形態にかかる露光装置の製造方法の手順の一部を示すフローチャート図である。

**【図5】**

本発明の第2の実施形態にかかる露光装置の投影系を示す図である。

**【図6】**

本発明の第2の実施形態における表面形状決定の手法を説明するための図である。

**【図 7】**

本発明の第 3 の実施形態における露光装置を概略的に示す図である。

**【図 8】**

本発明にかかるデバイス製造方法の実施の形態の一例を示すフローチャート図である。

**【符号の説明】**

8    : 反射型レチクル

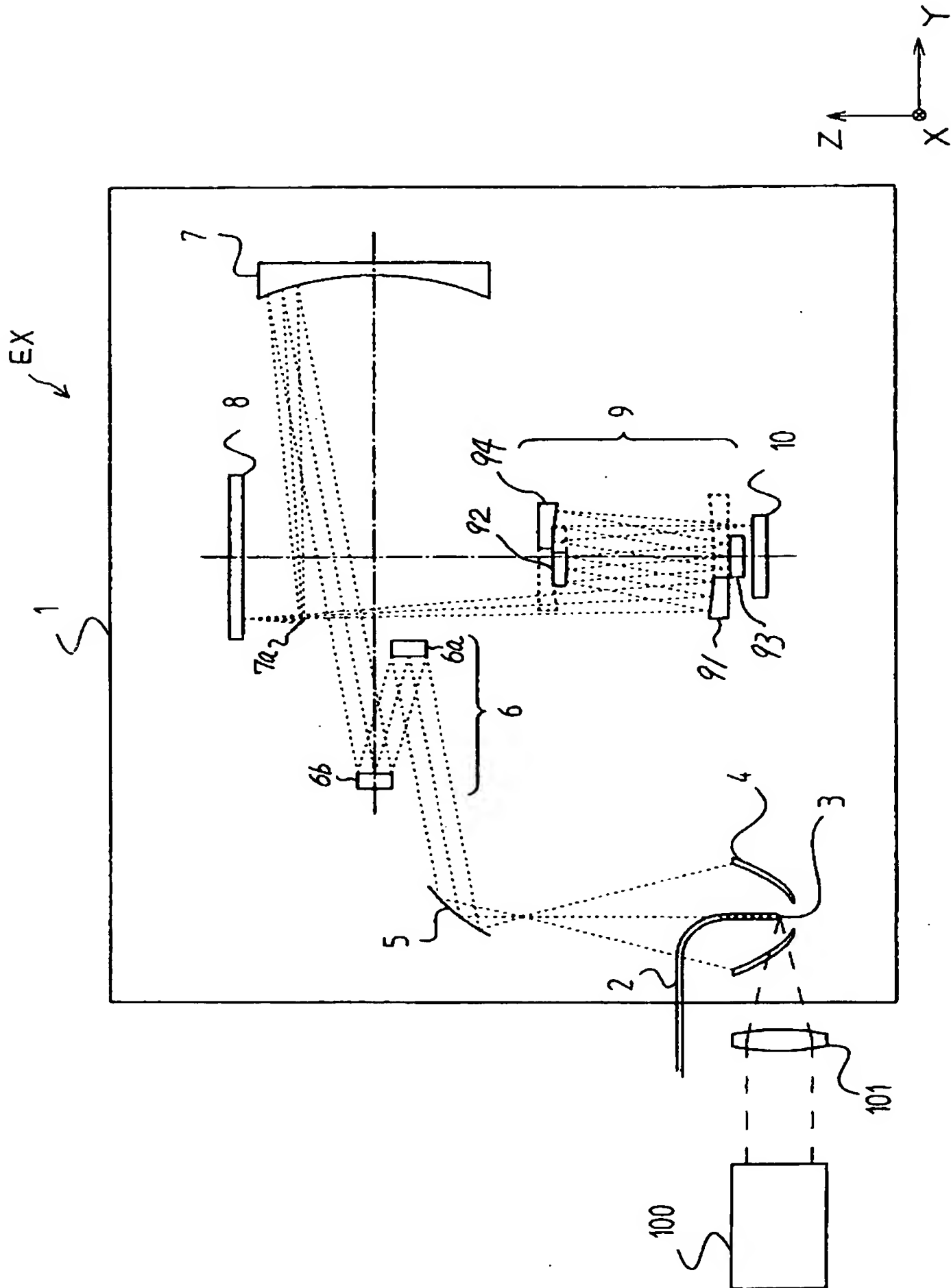
9    : 投影系

1 0 : ウエハ

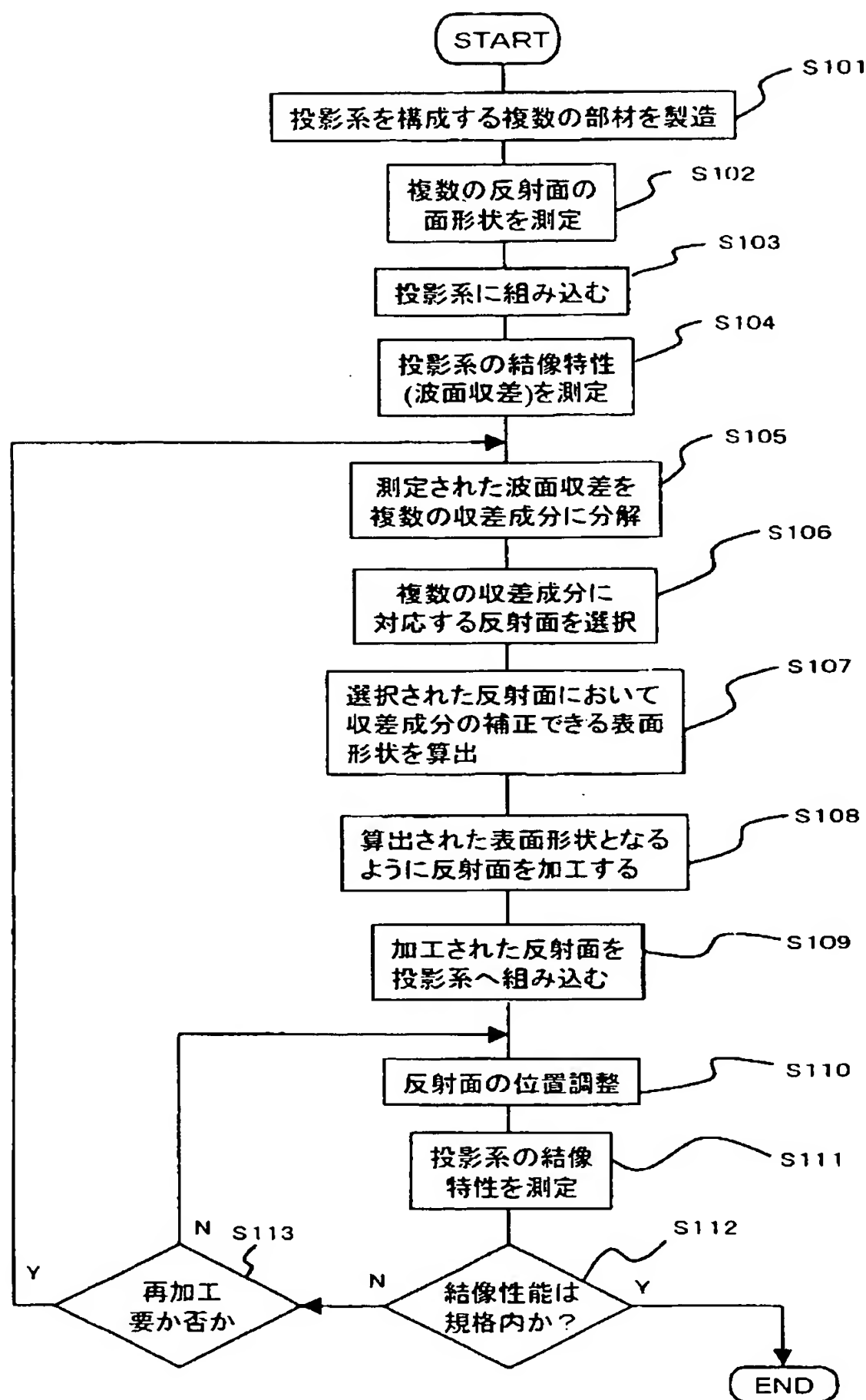


【書類名】 図面

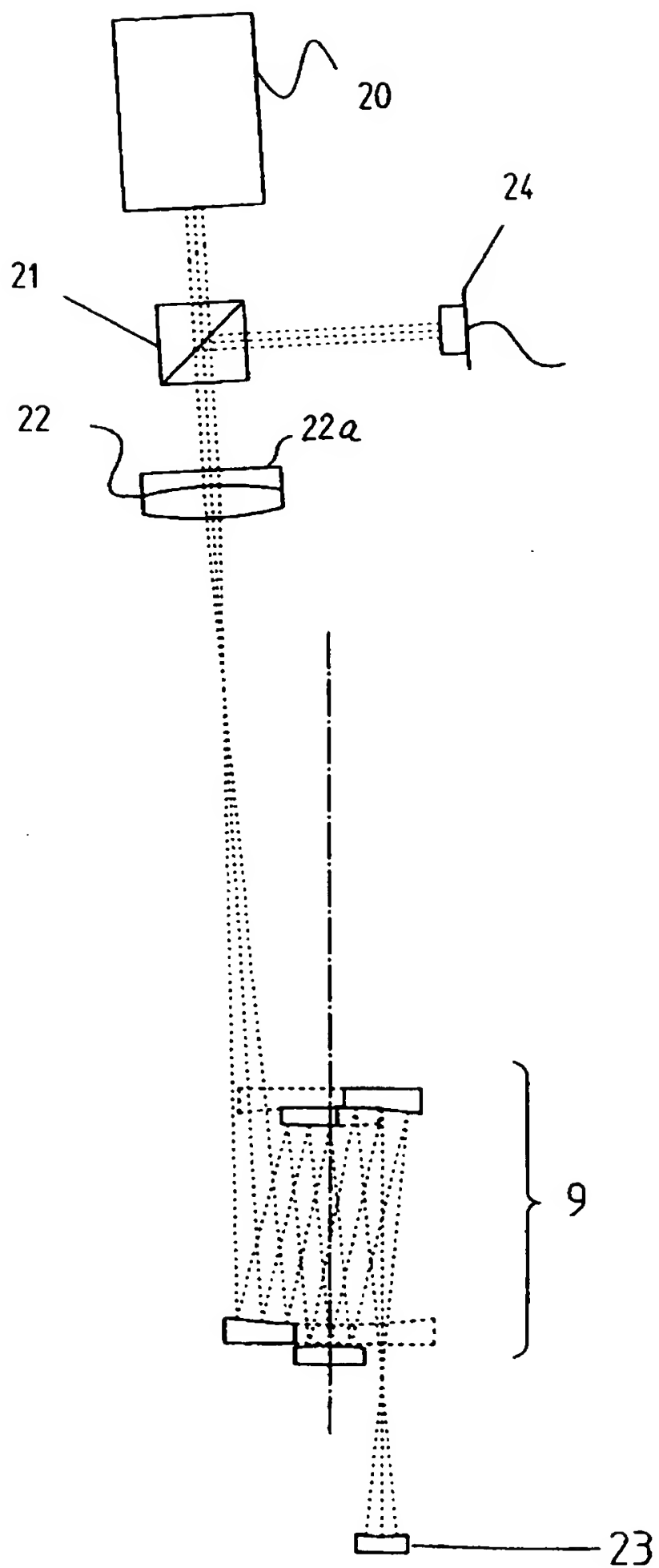
【図 1】



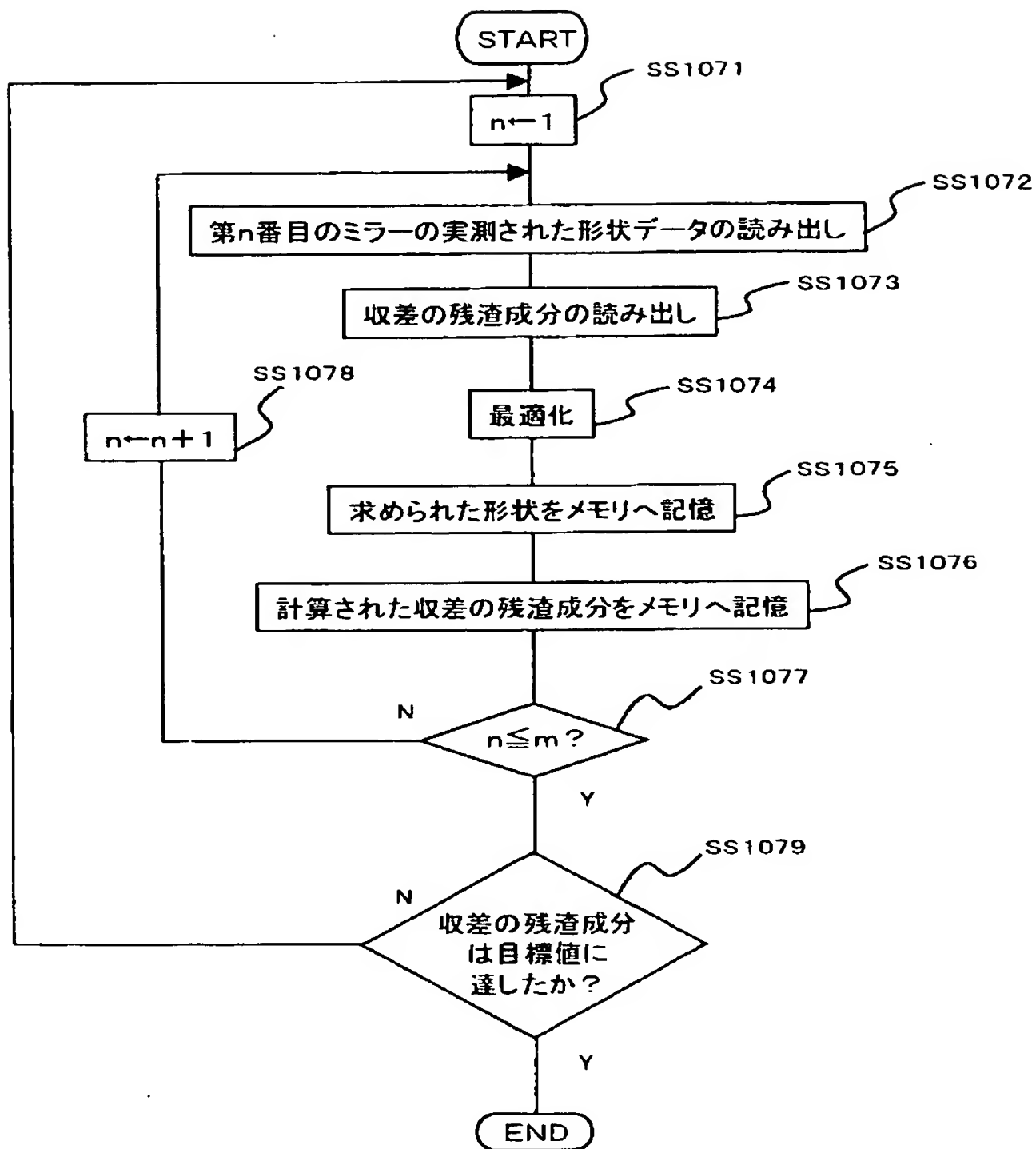
【図 2】



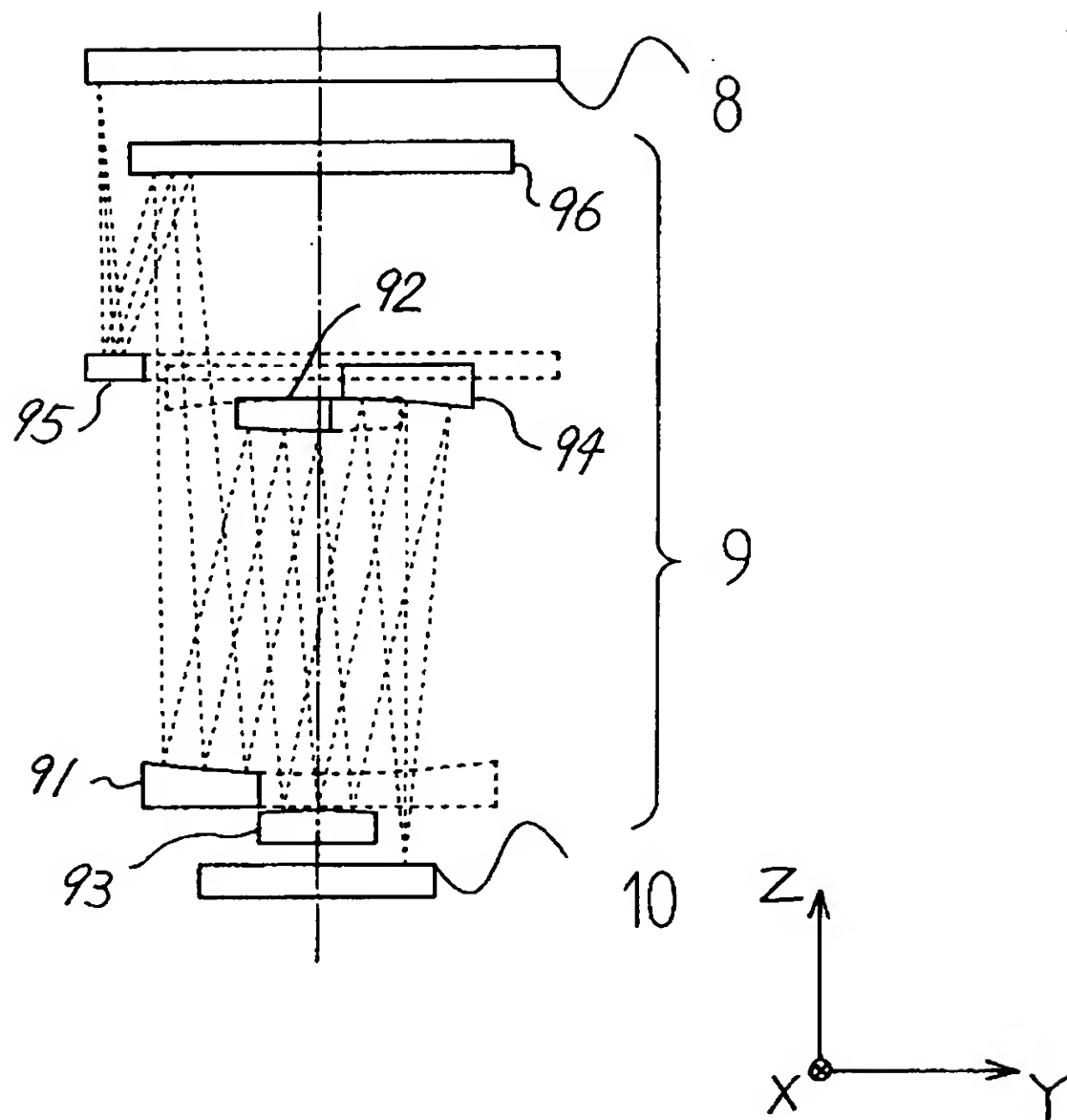
【図 3】



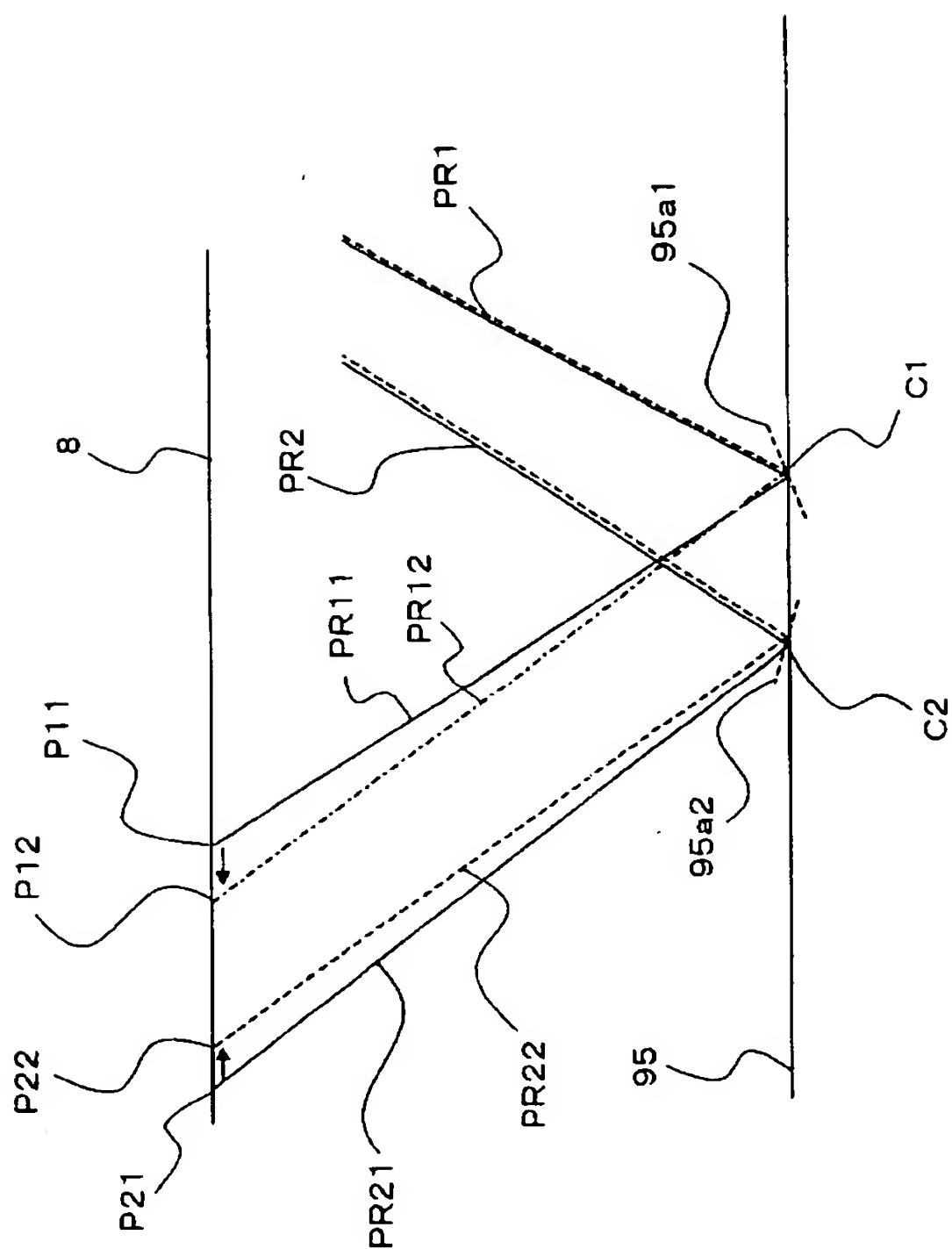
【図4】



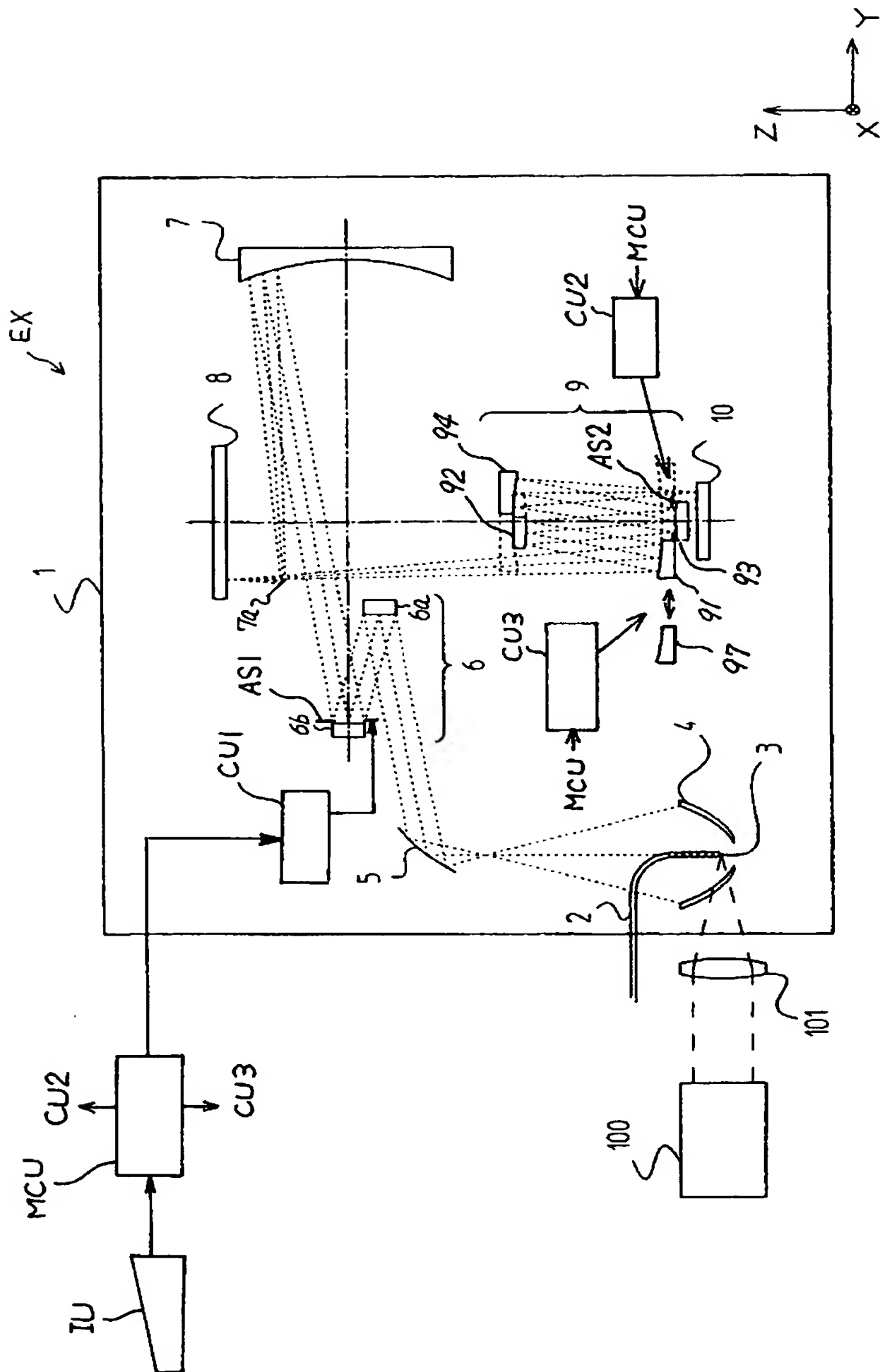
【図 5】



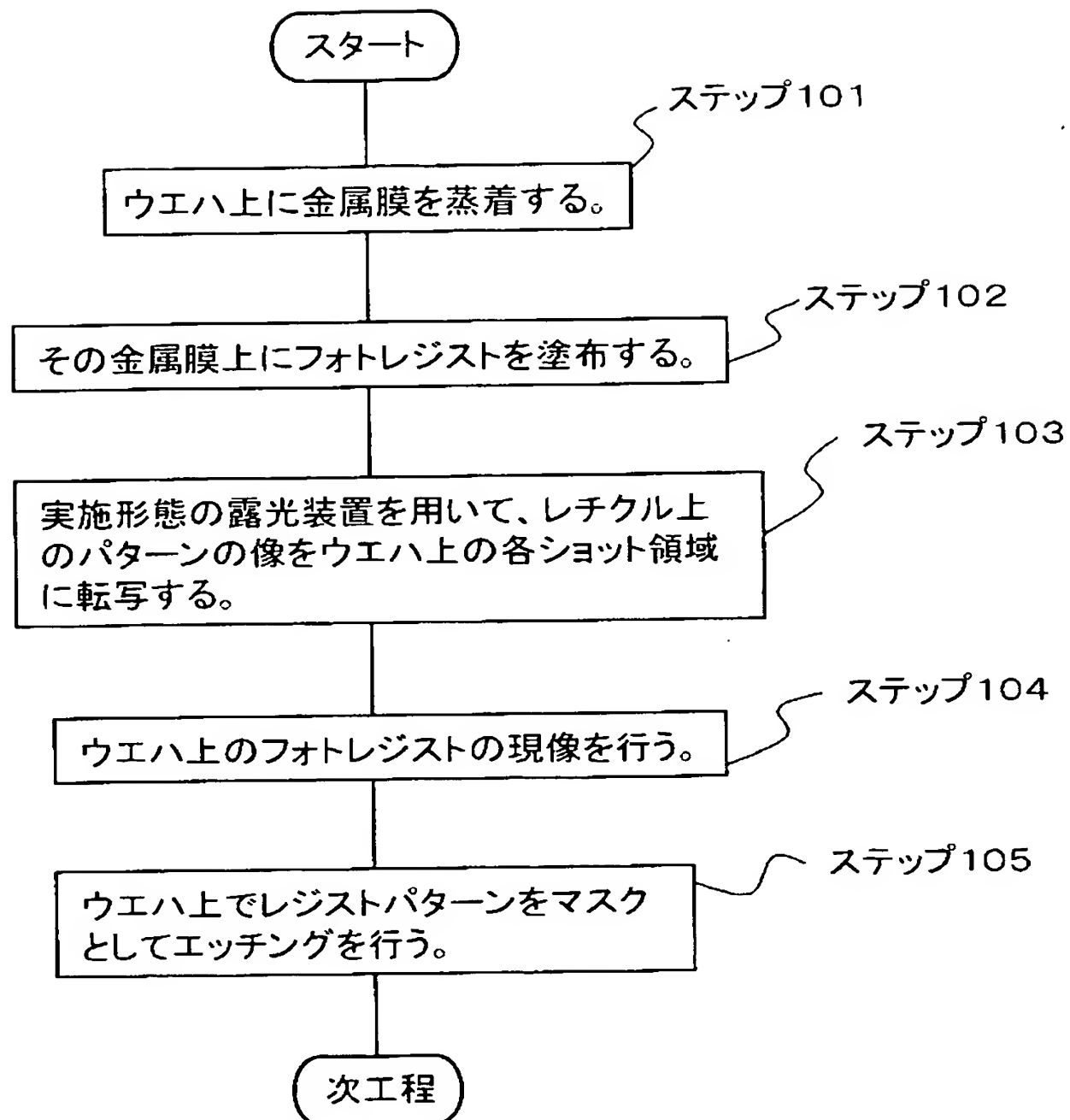
【図 6】



【図 7】



【図 8】





【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 投影系が少ない光学部材で構成されている場合であっても、良好な結像性能を達成する

【解決手段】 X線光源(2-3, 100, 101)と、このX線光源からのX線をマスク(8)へ導く照明系(4-7)と、このマスクを介したX線を被露光面(10)へ導いてマスク上のパターンを投影する投影系(9)とを備える露光装置であって、投影系は、複数の反射鏡(91-94)より構成され、複数の反射鏡のうちの少なくとも1つ(91)は、この1つの反射鏡とは異なる表面形状を持つ反射鏡(97)と交換可能に設けられている。

【選択図】 図7

【書類名】 職権訂正データ  
【訂正書類】 特許願

< 認定情報・付加情報 >

【特許出願人】 申請人  
【識別番号】 000004112  
【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号  
【氏名又は名称】 株式会社ニコン

特願平 1 0 - 2 6 0 1 7 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 4 1 1 2 ]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 2 9 日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号
氏 名	株式会社ニコン